DOI: 10.5846/stxb201604180721
王素艳,郑广芬,李欣,杨建玲,张晓煜,李剑萍,马力文.气候变暖对贺兰山东麓酿酒葡萄热量资源及冷冻害的影响.生态学报,2017,37(11):3776-3786.
Wang S Y,Zheng G F,Li X,Yang J L,Zhang X Y,Li J P,Ma L W.Impact of climate warming on heat resources and freezing injuries in wine grapes at the east foot of the Helan Mountains of Ningxia.Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3776-3786.

气候变暖对贺兰山东麓酿酒葡萄热量资源及冷冻害的影响

王素艳[1,2],郑广芬[2,*],李　欣[1],杨建玲[1],张晓煜[1],李剑萍[1],马力文[1]
1 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川　750002
2 宁夏气候中心, 银川　750002

摘要:利用宁夏贺兰山东麓各地 1981 年以来气象资料,分析了气候变暖对酿酒葡萄生育关键期主要热量资源和冷冻害的影响。结果表明:1981 年以来,随着气候变暖,贺兰山东麓酿酒葡萄发育期 4—9 月各地各月平均气温显著上升,1997 年前后发生突变,突变后部分年份较常年同期偏高 1℃以上,其中放条萌芽期 4 月平均气温上升显著,但月内波动幅度增大,酿酒葡萄遭受霜冻或强降温危害的风险增加;7—8 月浆果生长和成熟期低温事件发生的可能性仍然较大;气候变暖使活动积温显著增加,中晚熟品种积温保证率达 100%,4—9 月 3300℃(成熟度高,葡萄酒质量好的临界积温)的积温保证率明显提高;无霜期延长,晚熟品种的保证率提高,部分年份活动积温和无霜期满足极晚熟品需求;大部分地区冬季低温冻害相关要素变化趋势都不显著,其中出现持续低于-17℃(冬季受冻临界气温)日数减少,极端最低气温升高,但仍然低于-17℃,惠农、贺兰、平罗、银川 20 cm 深度-4℃以下日数减少;春季适宜放条期后出现霜冻的年份和日数增多,霜冻过程的最低气温明显降低,出现伴随霜冻的中等及以上强度冷空气频率和次数增加,强度增强。气候变暖对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生产有利有弊,不同品种酿酒葡萄对气候的适用性不同,因此在酿酒葡萄生育各关键期,仍需加强极端天气气候事件和气象灾害的监测和防范工作,减轻或避免气候条件变化对酿酒葡萄产业发展的不利影响。

关键词:气候变暖;宁夏贺兰山东麓;酿酒葡萄;热量资源;冷冻害;影响

Impact of climate warming on heat resources and freezing injuries in wine grapes at the east foot of the Helan Mountains of Ningxia

WANG Suyan[1,2],ZHENG Guangfen[2,*],LI Xin[1],YANG Jianling[1],ZHANG Xiaoyu[1],LI Jianping[1],MA Liwen[1]
1 *Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia*, *Yinchuan* 750002, *China*
2 *Ningxia Climate Center*, *Yinchuan* 750002, *China*

Abstract: Using meteorological data collected from the east foot of the Helan Mountains of Ningxia since 1981, we analyzed the impact of climate warming on heat resources and freezing injuries in wine grapes. The results show that the average temperatures from April to September increased significantly during this period, with an abrupt climate warming trend beginning around 1997. Temperature anomalies were higher than 1℃ in some years after 1997. The trend of average temperatures in April, when wine grapes are in their bud germinating stage, increased rapidly, but there were also greater fluctuations, and the risk of frost or of strong cooling periods also increased. Low-temperature injury events were more likely to appear between July and August, which is the period during which wine grape berries grow and mature. With the active

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF201511);宁夏科技支撑计划项目(2013ZYN245)
收稿日期:2016-04-18;　　**网络出版日期**:2017-02-22

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: ych_zgf@163.com

accumulated temperature above 10℃ increased significantly, the probability of mid- or late-maturation was 100%, and the probability of temperatures of 3300℃ (the critical value of high maturity and quality) between April and September improved. With the frost-free period was prolonged the probability of late-maturation increased; the accumulated temperatures and frost-free periods could result in extreme late-maturation trends in many years. The factors affecting low temperature freezing-disasters in winter had no distinct trend. As the number of sustained days at which the minimum temperature dropped below −17℃ (the freezing-disaster critical temperature) decreased, the extreme minimum temperature was raised, although it was still below −17℃, and the days at which the minimum temperature was lower than −4℃ at a depth of 20 cm decreased in Huinong, Helan, Pingluo, and Yinchuan. The frequency of frost appearing after the appropriate time in spring was also reduced, but the number of days with frost increased. Although the minimum temperature decreased, Both the years and days with frost appearing after the appropriate time in spring increased. Climate warming has both advantages and disadvantages for wine grapes, and different cultivars adapt to these effects differently. Thus, there is still a need to increase monitoring of temperature and to prevent extreme climate events and meteorological disasters during the key periods of wine grape development in order to reduce or avoid the negative effects of climate change on wine grapes.

Key Words: climate warming; east foot of Helan Mountain of Ningxia; wine grapes; heat resources; freezing injury; climate impact

宁夏贺兰山东麓位于37°—39°N,与法国著名的波尔多葡萄酒产区在同一纬度,光热条件好,日较差大,葡萄生长期积温适宜,干旱少雨,日照充足,生态条件十分有利于葡萄糖分的积累、色素及风味物质的形成,可以酿造优质高档葡萄酒[1],因此,贺兰山东麓是国内外栽培和酿造专家认定的世界少有的酿酒葡萄最佳生态区之一。1980 年,从山东、河北引进酿酒葡萄品种,建立了玉泉营农场葡萄示范基地;1985 年,建立了农垦玉泉营葡萄酒厂,从此,开启了宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄的规模化产业发展。2011 年 10 月,宁夏回族自治区政府出台《宁夏贺兰山东麓葡萄文化长廊总体发展规划》,制定了"一廊、一心、三城、五群、十镇、百庄"的发展规划,一廊即葡萄产业集聚长廊。葡萄酒产业已被宁夏回族自治区政府列为特色优势产业之一,经过近几年的规模化发展,贺兰山东麓已成为国内外著名的优质酿酒葡萄生产基地,目前已有酿酒葡萄基地 3.3 万多公顷,主产区位于东麓山前洪积扇与黄河冲积平原之间,海拔 1130—1200 m[1],主要包括惠农、平罗、贺兰、银川、青铜峡、永宁、红寺堡等地,以中晚熟品种为主。

酿酒葡萄的品质是由其自身的遗传特性和环境条件共同决定的,适宜的生态条件是保证其优良品质的重要因素,而气候条件具有决定生产方向(酒型、酒质)的主导作用[2]。在相同的技术栽培条件下,品种相同,不同年份葡萄酒的质量标准存在差异。研究证实葡萄年份酒现象的产生与葡萄种植区的气候紧密相关。然而气候变暖是不争的事实,在气候变暖背景下,酿酒葡萄含糖量有上升趋势,含酸量有下降的趋势[3];对酿酒葡萄布局和酒种变化也有深远影响[4]。贺兰山东麓生态环境脆弱,气候资源年际间变率大,霜冻、越冬期根系冻害是影响和制约葡萄酒产业的主要气象灾害。尤其随着气候变暖,频繁发生的极端气候事件导致酿酒葡萄气象灾害频发,从 20 世纪 80 年代初期至 2011 年期间,就发生冬季冻害 6 次,2003—2012 年间全区性晚霜冻灾害发生了 5 次,特别是 2003 年的特大冻害,致使一半酿酒葡萄受冻害;2004 年 5 月 3—4 日霜冻造成贺兰山东麓葡萄基地缺苗断垄现象严重[5]。极端气温事件导致的冷冻害事件频发,严重影响了贺兰山东麓酿酒葡萄的健康发展,对酿酒葡萄产业影响越来越明显。近年来针对宁夏气候变化的事实进行了大量研究,而随着气候变暖,对气候变化较为敏感的宁夏贺兰山东麓,酿酒葡萄关键期气候资源发生了怎样的变化,目前尚未开展深入细致的研究,尤其对冬季低温冻害、春季霜冻及强降温过程未开展过研究。在当前宁夏大力发展酿酒葡萄产业的关键时刻,有必要摸清气候变暖背景下酿酒葡萄气候资源变化的新特点,进而合理利用气候资源,以主动应对灾害发生,适应气候变化。因此,本文将分析气候变暖对酿酒葡萄生育期主要热量资源及冷冻害的影响,为贺兰山东麓酿酒葡萄产业优化布局,趋利避害,保证稳产优质的酿酒葡萄生长提供科学依据。

1 资料及方法

1.1 气象资料来源

由于贺兰山东麓酿酒葡萄主产区气象资料完整、经过整编的国家气象站有惠农、平罗、贺兰、银川、青铜峡、永宁、红寺堡等气象站，且 1981 年以来气象站环境变化不大，海拔在 1092.5—1183.4 m，因此本文采用上述气象站 1981—2015 年逐日最低气温和平均气温资料。

1.2 时间序列趋势分析方法

计算序列的气候趋势系数以描述其上升或下降的幅度，气候趋势系数采用最小二乘法计算；采用累积距平和 Mann-Kendall 方法分析序列是否存在突变，Mann-Kendall 法计算方法见文献[6]。

1.3 相对变率

年际间的变化用相对变率表示，即某一地点某一气候变量平均偏差值相对于多年平均值的变化程度。相对变率小，表示年际间变化小；反之，相对变率大，表示年际间变化大，发生异常的可能性大。相对变率公式如下[7]：

$$相对变率 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|d_i|\frac{100}{\bar{X}}\%$$

式中，$\bar{X}$ 为 n 年平均气候要素，d_i 为年距平（$X_i - \bar{X}$），n 为年数。

2 气候变暖对酿酒葡萄生长期热量资源的影响

2.1 平均气温

葡萄是喜温植物，对热量要求高。热量条件不但决定葡萄物候期长短，还影响葡萄生长发育、产量和品质。联合国教科文组织在葡萄酒文化论坛上阐明，如果葡萄酒生长期的平均温度高于常年 1℃，葡萄的采摘时间一般会提前约 10 d，有些品种会出现早熟突变[3]；对贺兰山东麓酿酒葡萄的相关研究表明，4 月、7—8 月平均气温是影响贺兰山东麓酿酒葡萄成熟度的主要因子之一，也是决定葡萄年份酒的主要因素之一，4 月份温度高可促进葡萄提早萌发、延长葡萄的生长期，对中晚熟和晚熟葡萄品种成熟极为有利；7—8 月葡萄新梢的生长开始由旺盛转为缓慢，浆果开始上色和成熟，根系达到全年生长高峰，在凉温地区，温度越高、叶片光合作用加强，有利于糖份的积累和浆果干重的增加[1]，当日平均气温低于 20℃时，不利于浆果生长及成熟[2]。

表 1 为贺兰山东麓各地主要生育期平均气温变化特征，可见，4—9 月各地多年平均气温在 18.9—19.3℃之间，1981 年以来均有显著上升趋势，趋势系数在 0.29—0.89℃/10a℃之间；都在 1997 年前后发生突变（如银川，图 1），除贺兰外，其他地区 1997 年之后的平均气温较之前升高幅度都在 1℃以上，永宁达到 1.8℃，各地有 1—6a 较常年偏高 1℃以上（如银川，图 2）。除贺兰和银川外，其他各地 6 月上升趋势最大，9 月最小；其中4 月上升趋势在 0.60—0.92℃/10a 之间，7、8 月上升趋势在 0.23—0.89℃/10a 之间。

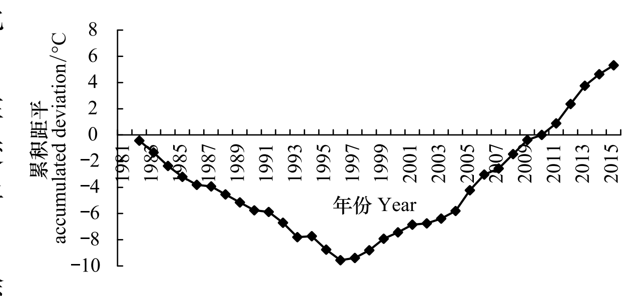


图 1 银川 4—9 月平均气温累积距平

Fig.1 Accumulated deviation of average temperature from April to September in Yinchuan

由表 1 可见，大部分地区 4 月平均气温的上升对酿酒葡萄生育期气温的上升贡献仅次于 6 月；研究也发现，4 月份平均气温总体虽然呈升高趋势，但气温波动幅度增大。一般情况下，春季气温逐渐回升，$T_{4月下旬} > T_{4月中旬} > T_{4月上旬} > T_{3月下旬}$，下一旬比上一旬平均气温偏高幅度都在2—3℃。从历年逐旬间气温变化看，大部分年份都会有下一旬比上一旬平均气温偏低的情况，但是 1997 年之前基本偏低幅度低于 1.2℃，在 1997 年至 2005 年该偏低幅度低于 0.9℃，而 2005 年以后基本都在

2.4—4.0℃,由此影响葡萄放条和萌芽。如 2006 年,4 月上旬贺兰山东麓各地平均气温达 13℃以上,较 3 月下旬高 5.4—6.4℃,4 月中旬则下降至 10℃以下,较 4 月上旬低 3.4—4.4℃,最低气温达-4.6—-3.8℃;由于前期气温回升快,酿酒葡萄放条、萌芽早,后期出现明显降温,即使温度不低于 0℃,也会影响正常生长发育,加之又遭受霜冻,灾害更加严重,因此 2006 年 4 中旬酿酒葡萄大规模受冻[8];再如 2008 年 4 月中旬,各地平均气温达 14.7—16.4℃,较常年同期偏高 1.6—3.5℃,之后迅速降温,4 月下旬日平均气温仅为 8.3—10.0℃,较常年同期偏低 2.9—4.8℃,尽管未达到霜冻,但导致已经萌发的芽眼和嫩梢严重受冻[5]。

表 1　贺兰山东麓 4—9 月平均气温特征量

Table 1　The average temperature characteristic during April and September in east foot of Helan mountain

地区 Region	平均气温上升趋势/(℃/10a) Increasing trend of average temperature							4—9 月多年平均气温/℃ Mean temperature from April to September	气候突变后 4—9 月平均气温与之前差/℃ Mean temperature difference from April to September after and before climate abrupt
	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	4—9 月 April to September		
惠农	0.71	0.51	0.72	0.44	0.43	0.27	0.50	19.3	1.1
贺兰	0.63	0.23	0.49	0.27	0.23	0.03	0.29	19.1	0.8
平罗	0.64	0.45	0.74	0.35	0.31	0.19	0.42	19.1	1.1
银川	0.86	0.57	0.84	0.60	0.58	0.45	0.63	19.2	1.4
青铜峡	0.60	0.45	0.77	0.53	0.44	0.33	0.49	18.9	1.2
永宁	0.92	0.90	1.23	0.89	0.80	0.68	0.89	19.1	1.8
红寺堡	0.64	0.64	0.95	0.60	0.61	0.40	0.62	19.3	1.2

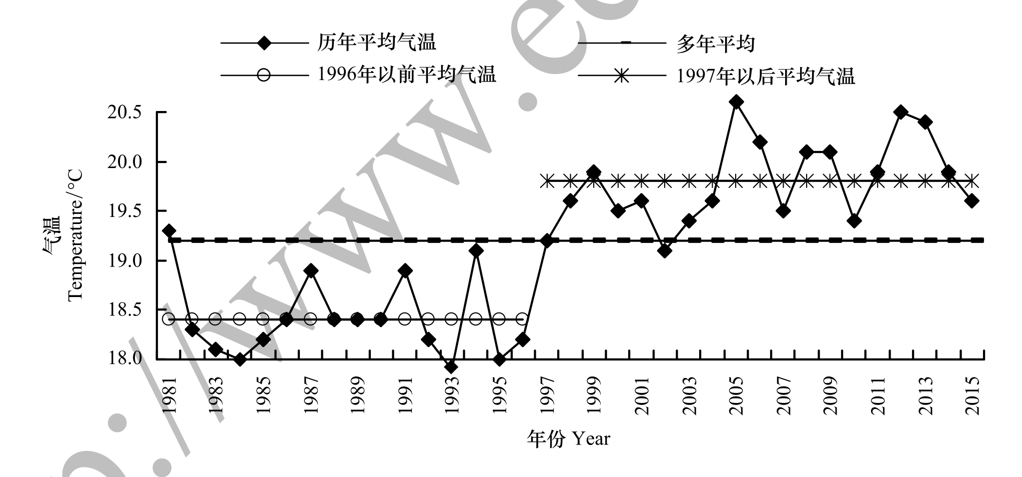


图 2　银川 4—9 月平均气温年际变化

Fig.2　Interannual variation of average temperature form April to September in Yinchuan

7—8 月日平均气温低于 20℃的天数整体呈减少趋势,但年际间变率增大;各地减少趋势在 1.2—3.3d/10a 之间;1997 年之后平均日数较之前减少了 4.9—8.3 d,减少 32%—53%,相对变率由之前的 5.1%—6.8%增加到 8.6%—11.8%。如图 3 为银川 7—8 月日平均气温低于 20℃的日数年际变化,由图可以看出,银川 7—8 月份日平均气温低于 20℃的天数减少趋势为 2.2d/10a,1997 年前大部分年份在 8 d 以上,平均 11.1 d,之后大部分年份在 7 d 以下,平均 6.1 d,减少了 5 d(45%);相对变率由 5.5%增加到 9.5%,1997 年之后,有 3 a 在 13—16 d,位列前 5 高位,最少的 5 a 也出现在该时段。由此可见,气候变暖的背景下 7—8 月不利气象条件发生的可能性仍然较大。

2.2　气候变暖对活动积温的影响

不同品种酿酒葡萄对全年活动积温(≥10℃)的要求不同,中熟品种 2900—3300℃,晚熟品种 3300—

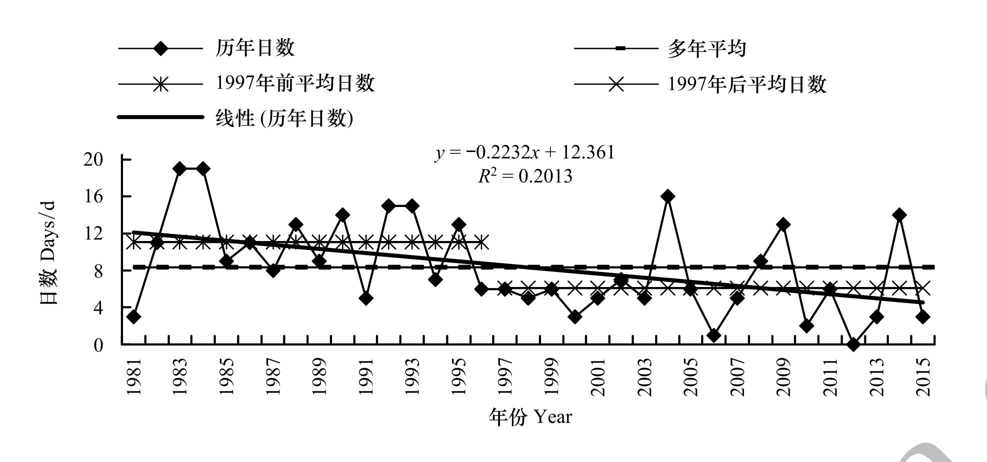


图 3　银川 7—8 月日平均气温<20℃日数年际变化

Fig.3　Interannual variation of the days which average temperature <20℃ between July to August in Yinchuan

3700℃,极晚熟品种 3700℃以上[9];李玉鼎等通过对贺兰山东麓中晚熟品种酿酒葡萄的观测研究得出,4—9 月活动积温是贺兰山东麓年份酒的决定因素之一,超过或接近 3300℃的年份中晚熟品种酿酒葡萄的成熟度高或较高,葡萄酒的质量也较好[1]。

表 2 为贺兰山东麓各地全年活动积温、4—9 月活动积温及稳定通过 10℃的初终日期变化特征,可见,随着气候变暖,贺兰山东麓稳定通过 10℃的初日提前和终日推后,加之期间平均气温上升,致使活动积温明显增加,全年活动积温增加趋势 103—241℃/10a,1997 年之前各地平均活动积温在 3229—3354℃,大部分年份较常年偏少,有 5—11 a 在 3300℃以下;1997 年之后每地每年都在 3300℃以上,其中有 6—11 a(占 32%—58%)超过 3700℃,最高达到 3882—4261℃(如银川,图 4a),各地平均积温达 3620—3730℃,较之前多 266—485℃。各地 4—9 月活动积温增加趋势 81—189℃/10a,1997 年之前,各地大部分年份不足 3300℃,平均 3136—3244℃,1997 年之后平均活动积温达到 3457—3527℃,较之前增加了 213—372℃,永宁有 4a 不足 3300℃,银川每年都在 3300℃以上(图 4b),其他各地仅有 1—2a 不足 3300℃,较 1997 年明显提高。由此可见,对于中晚熟酿酒葡萄,仅从活动积温来看,贺兰山东麓气候变暖不但可保障其全生育期对活动积温的需求,而且形成高质量的酿酒葡萄的保证率可达 89%以上。

表 2　贺兰山东麓各地活动积温及稳定通过 10℃的初终日变化趋势

Table 2　Change trend of the active accumulated temperature and the beginning day and the ending day of the average temperature ≥10℃ in east foot of Helan mountain

地区 Region		惠农	平罗	贺兰	银川	永宁	青铜峡	红寺堡
4—9 月活动积温	增加趋势/(℃/10a)	123	81	92	150	119	189	156
Active accumulated temperature	1997 年之前平均积温/℃	3234	3244	3213	3184	3180	3136	3223
from April to September	1997 年之后平均积温/℃	3490	3457	3474	3519	3463	3508	3527
全年活动积温	增加趋势/(℃/10a)	161	103	131	192	153	241	206
Active accumulated temperature	1997 年之前平均积温/℃	3334	3354	3299	3279	3272	3229	3329
throughout the year	1997 年之后平均积温/℃	3670	3620	3655	3707	3642	3714	3730
	1997 年后超过 3700℃年份/a	8	6	7	10	6	11	11
	初日提前趋势/(d/10a)	2.9	2.9	1.6	3.2	2.6	2.6	3.5
	终日推后趋势/(d/10a)	3.6	2.4	4.0	3.9	3.3	4.5	3.5

2.3　气候变暖对无霜期的影响

无霜期为春季终霜和秋季初霜日期之间的长度。无霜期长度是葡萄成熟和植株营养积累、安全越冬的保证。无霜期过短,春天终霜使葡萄芽受冻,影响挂果;秋天迅速降低的温度使葡萄植株合成碳水化合物的能力降低,同时也影响葡萄的成熟度,过早的霜降打落叶片,使其非自然脱落,减少糖在葡萄中的积累以及在多年

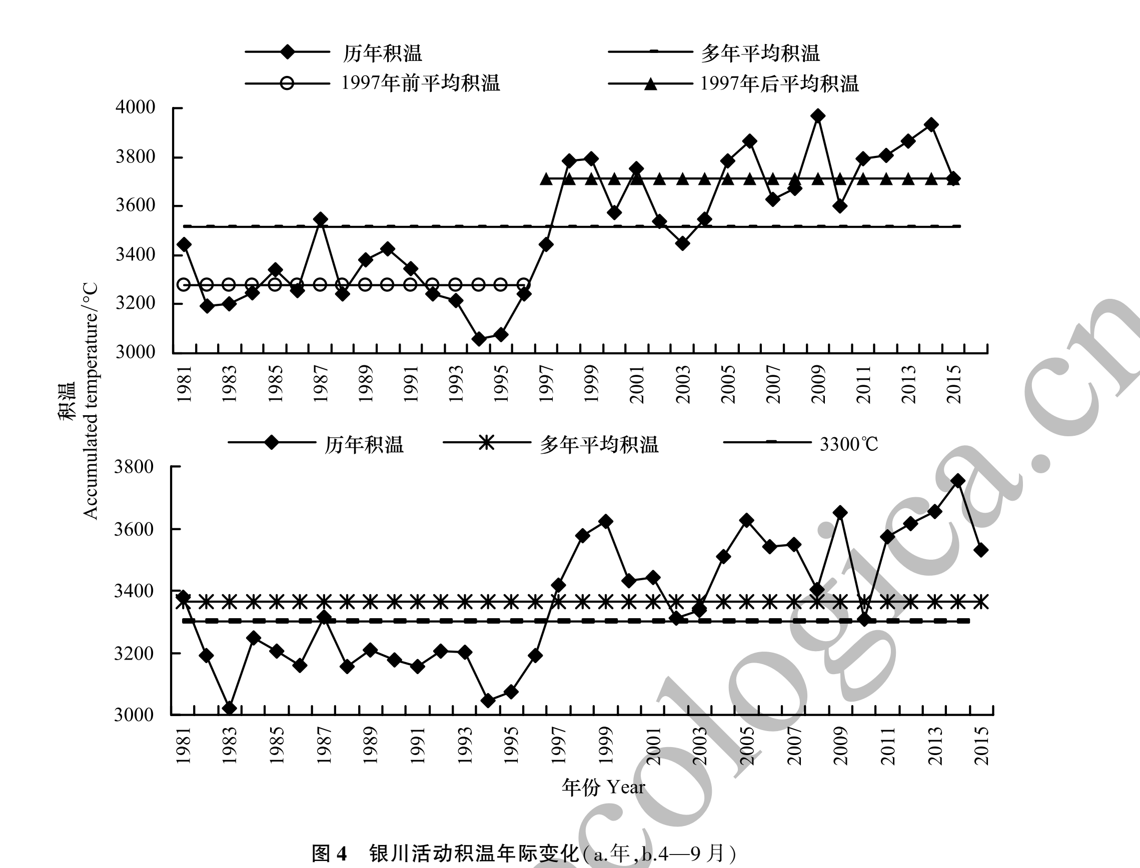


图 4　银川活动积温年际变化(a.年,b.4—9 月)

Fig.4　Interannual variation of the active accumulated temperature in Yinchuan(a.throughout the year;b.from April to September)

生枝条内的分配。酿酒葡萄对无霜期的要求中熟品种 140—155 d,晚熟品种 155—180 d,极晚熟品种 180 d 以上[9]。

随着气候变暖,各地春季终霜日期显著提前,提前趋势 2.5—7.0d/10a,秋季初霜日期显著推后,推后趋势 2.7—5.8d/10a,因此无霜期延长,且大部地区终霜日期的提前对无霜期的延长贡献大于初日推迟的贡献。表 3 为贺兰山东麓各地无霜期要素变化特征,由表可见,1997 年之后,终霜日期由 4 月 17—24 日提前至 4 月 8—19 日,初霜日期由 10 月 8—15 日推迟至 10 月 15—20 日,无霜期延长趋势 5.6—10.5d/10a。1981 年以来,各地每年无霜期都在 140 d 以上;1997 年之后,平均无霜期达到 186—194 d,较之前延长 12—22 d,除惠农、银川有 1 a 不足 155 d 外,其他地区 155 d 以上的年份达 100%,其中各地有 11—17 a(占 58%—89%)在 180 d 以上,最长达 199—225 d;而在 1997 年之前,只有青铜峡每年都在 155 d 以上,其他地区有 1—3 a 在 155 d 以下,180 d 以上的年份 5—9 a(占 31%—56%)(图 5)。可见,气候变暖使贺兰山东麓酿酒葡萄晚熟品种对无霜期需求的满足率有所提高。

3　气候变暖对贺兰山东麓酿酒葡萄低温冻害的影响

3.1　越冬期冻害

冬季的根系冻害和春末夏初的晚霜冻冻害是宁夏贺兰山东麓地区葡萄生产中的最大自然灾害,其中以根系冻害最为严重[10]。当极端低温较低且持续时间较长时,易发生根系冻害。由于宁夏贺兰山东麓种植的酿酒葡萄冬季采取埋土越冬,欧亚种葡萄芽眼可以在-17—-15℃生存,但根系对低温的耐受性很差,20 cm 深度土层内的根系极易受到伤害[5],在温度达到-4.0℃后就会受冻死亡[8],美洲种比欧亚种对低温的耐受性稍强。

3.1.1　-17℃以下日数变化特征

贺兰山东麓各地冬季最低气温在-17℃以下总日数相差较大,惠农最多(10.5 d),红寺堡最少(4.3 d)(表 4)。

表 3 贺兰山东麓无霜期要素

Table 3 The factors of the frost-free period in east foot of Helan mountain

地区 Region	惠农	平罗	贺兰	银川	永宁	青铜峡	红寺堡
春季终霜日期提前趋势/(d/10a) Advanced trend of latest frost date	3.9	3.9	3.3	6.2	2.5	7.0	6.0
1997 年之前春季平均终霜日期 Latest frost date before 1997	4—24	4—17	4—21	4—21	4—19	4—23	4—24
1997 年之后春季平均终霜日期 Latest frost date after 1997	4—17	4—9	4—16	4—11	4—11	4—8	4—10
秋季初霜推后趋势/(d/10a) Postponed trend of first frost date	3.8	2.7	4.5	3.9	5.8	3.7	3.9
1997 年之前秋季平均初霜日期 First frost date before 1997	10—9	10—15	10—8	10—14	10—10	10—13	10—11
1997 年之后秋季平均初霜日期 First frost date after 1997	10—15	10—17	10—17	10—19	10—20	10—18	10—19
无霜期长度变化趋势/(d/10a) Change trend of frost-free period	8.1	5.6	7.0	9.8	7.3	10.5	9.9
1997 年之前平均无霜期/d Frost-free period before 1997	167	180	170	175	175	175	171
1997 年之后平均无霜期/d Frost-free period after 1997	182	192	186	191	193	194	193
1997 年之后无霜期 180d 以上的年份/a Years of frost-free period longer than 180d after 1997	11	16	12	14	17	15	15
1997 年之后无霜期与之前偏多/d Difference of frost-free period after and before 1997	15	12	16	16	18	19	22

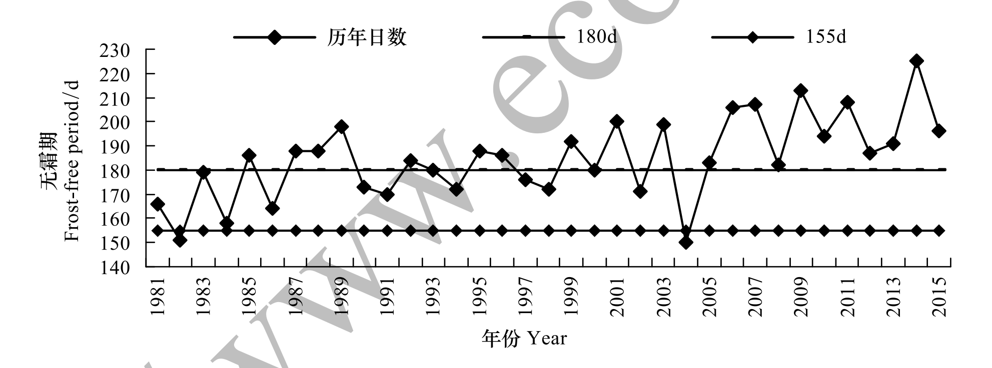


图 5 银川无霜期年际变化

Fig.5 Interannual variation of the frost-free period in Yinchuan

表 4 贺兰山东麓各地冬季极端低温日数和最低气温

Table 4 The days of extremely low temperature and minimum temperature in winter in east foot of Helan mountain

地区 Region	惠农	平罗	贺兰	银川	永宁	青铜峡	红寺堡
-17℃以下多年平均低温日数/d Average days the minimum temperature below -17℃	10.5	7.4	8.9	6.2	5.3	6.0	4.3
极端最低气温 Extreme minimum temperature/℃	-28.4	-28.2	-27.7	-27.7	-25.9	-25.0	-26.9
极端最低气温增加趋势/(℃/10a) Increasing trend of extreme minimum temperature	0.0	0.2	0.3	0.9	0.7	0.8	0.7
1997 年之后极端最低气温较之前升高/℃ Difference of extreme minimum temperature after and before 1997	-0.3	0.3	0.7	1.5	1.3	1.8	1.3
20cm 深度-4℃以下多年平均日数/d Average days the temperature below -4℃ at a depth of 20 cm	4.5	6.1	2.8	3.2	3.6	3.7	1.1
1997 年后 20cm 深度-4℃以下日数较之前减少/d Difference of days the temperature below -4℃ at a depth of 20 cm after and before 1997	-1.9	-3.3	-0.7	-1.7	-1.7	-0.5	-0.4

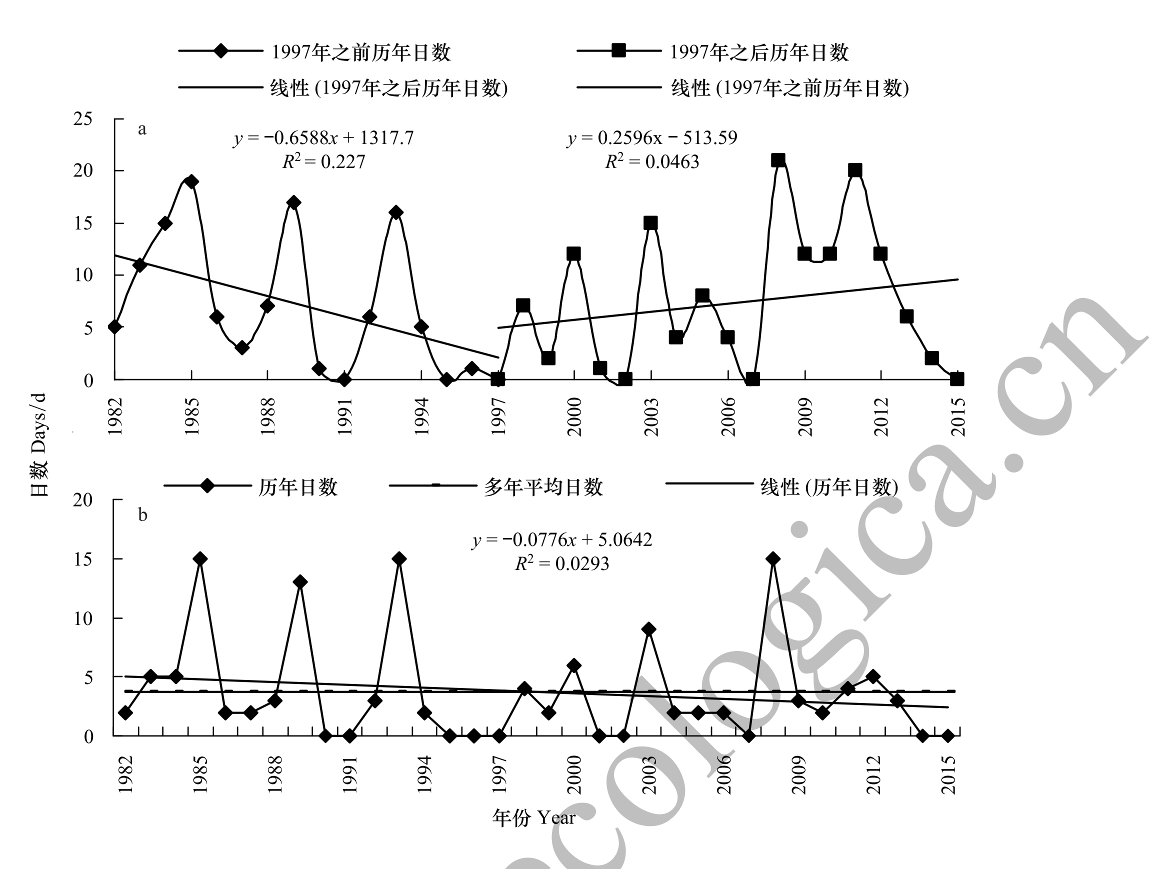


图 6　贺兰冬季最低气温在−17℃以下总日数(a)及持续日数年际变化(b)

Fig.6　Interannual variation of the days (a) and the sustained days (b) which the minimum temperature below −17℃ in Helan

图中横坐标 1982 为 1981/1982 年冬季,依次类推

总体变化趋势也不尽相同,银川和永宁减少趋势较明显,其他各地变化趋势不明显,但贺兰、平罗 1997 年之后呈增加趋势,尤其 2007/2008 年冬季以来的 8 个冬季中有 5 a 较常年偏多,贺兰 2007/2008 年冬季至 2011/2012 年冬季每年都在 12—21 d,较常年偏多 4.6—13.6 d,也是持续偏多最长的时段(图 6a)。各地出现持续低于−17℃的频率变化不大,日数呈减少趋势,但都未通过显著性检验,虽然相对变率减小,但也会出现异常偏多的年份;如贺兰,1997 年以前出现持续低于−17℃的频率为 68.8%,之后为 68.4%,持续日数以 0.8d/10a 的趋势减少,其中 2007/2008 年冬季持续低温日数和 1984/1985 年冬季、1992/1993 年冬季并列为最多年,2002/2003 年为第三多年(图 6b)。

3.1.2　极端最低气温变化特征

越冬期各地极端最低气温在−28.4—−25.0℃。从变化趋势看,大部分地区有不显著升高趋势,但高于−17℃的年份减少,尤其是 2007/2008 年冬季以来进入相对偏低时段。由表 4 可见,各地增加幅度 0.0—0.9℃/10a,惠农极端最低气温升高趋势非常小,但年际间变率增加最大,其次为平罗,惠农和平罗在气候变暖背景下多次出现异常低温,如 2007/2008 年冬季惠农极端最低气温(−27.6℃)创 1981 年以来极低值,1999/2000 年(−26.0℃)、2001/2002 年冬季分别为第二和第三低值(图 7);1997 后,惠农平均极端最低气温较之前降低了 0.3℃,平罗升高 0.3℃;其他地区异常偏低年份减少,变率减小,年际间变化更加稳定,1997 年之后平均最低气温较之前升高 0.7—1.8℃。

3.1.3　20cm 深度−4℃以下日数变化特征

由表 4 可见,越冬期各地 20 cm 深度−4℃以下日数多年平均值在 1.1—6.1 d,红寺堡最少,平罗最多。其中惠农、贺兰、平罗、银川呈减少趋势,但没通过显著性检验,其他地区总体变化趋势不明显;各地 1997 年后平均日数较之前减少 0.4—3.3 d,减少 21%—44%。

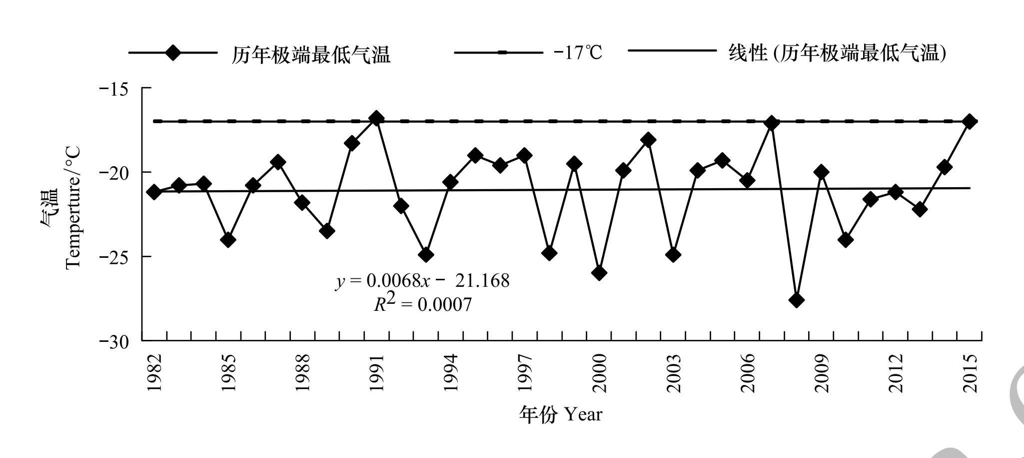


图 7 惠农极端最低气温年际变化

Fig.7 Interannual variation of the extreme minimum temperature in Huinong

3.2 春季霜冻害

贺兰山东麓酿酒葡萄适宜放条期在日平均气温超过 10℃[2],此时如遇霜冻,尤其骤然降温引起的霜冻,灾害更加严重。统计分析贺兰山东麓适宜放条期后霜冻的变化特征,结果表明,随着气候变暖,大部分地区适宜放条期后出现霜冻的年份及霜冻日数增多,霜冻过程的最低气温明显降低,与前面分析的各要素不同,霜冻日数在 2000 年前后差异显著。以酿酒葡萄主产区青铜峡为例(图 8),2000 年后平均霜冻日数为 2.4 d,最多年 5 d,有 6 a 在 4 d 以上,仅有 3 a 未出现霜冻,霜冻过程的最低气温在-6.5—-0.3℃,平均-2.4℃;而在此之前霜冻日数平均 1.5 d,最多年 5 d,仅有 2 a 在 4—5 d,有 7a 未出现霜冻,霜冻过程的最低气温在-5.7—-0.1℃,平均-1.7℃。

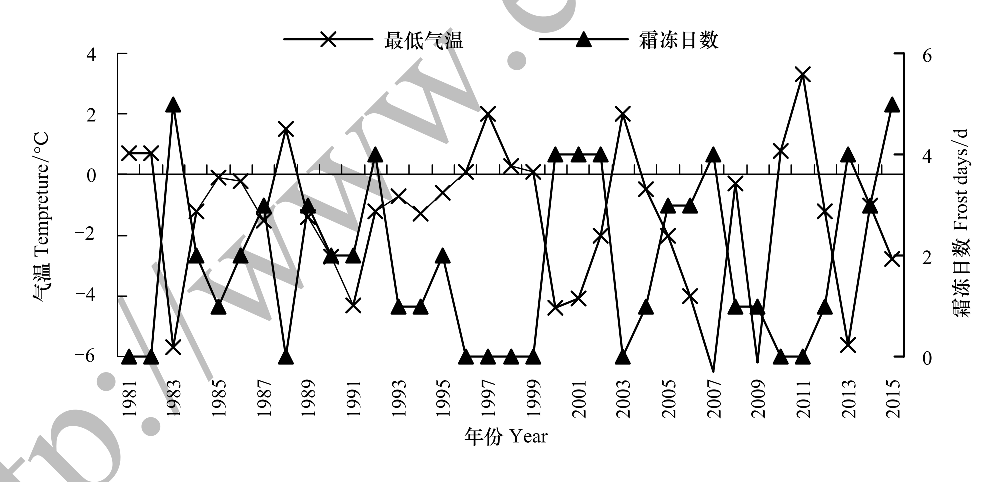


图 8 青铜峡适宜放条期后霜冻日数和最低气温

Fig.8 Frost days the and minimum temperature after the appropriate time in spring in Qingtongxia

根据文献[11],48 h 内日最低气温降温幅度≥6℃但<8℃的冷空气为中等强度冷空气,降温幅度≥8℃且日最低气温下降到 8℃的冷空气为强冷空气。统计分析贺兰山东麓各地适宜放条期后中等及以上并伴随霜冻的冷空气活动变化特征。结果表明:随着气候变暖,中等强度及以上冷空气的年份和次数增加,强度增强,仍然在 2000 年前后差异显著。如青铜峡(表 5),2000 年以前,出现中等强度及以上冷空气的频率为57.9%,年平均 1.4 次,平均降温幅度 8.6℃;出现强冷空气的频率为 36.8%,年平均 1.1 次,平均降温幅度9.5℃,10℃以上降温有 2 次,最大降温幅度 11.7℃;而在 2000 年以后,出现中等强度及以上冷空气的频率为 62.5%,年平均 2.2 次,平均降温幅度 9.0℃;出现强冷空气的频率为 56.2%,年平均 1.4 次,平均降温幅度9.9℃,其中 10℃以上降温次数有 5 次,最大降温幅度达 13.2℃(以上年平均次数均为出现年份的平均,未出现年份不计入)。

表 5　青铜峡中等及以上强度冷空气过程特征量

Table 5　The characteristics of cold air process above medium strength in Qingtongxia

冷空气强度 Cold air intensity	2000 年前 Before the year of 2000				2000 年以后 After the year of 2000			
	频率/% Frequency	年平均次数/次 Average annual times	平均降温幅度/℃ Average cooling range	最大降温幅度/℃ Maximum cooling range	频率/% Frequency	年平均次数/次 Average annual times	平均降温幅度/℃ Average cooling range	最大降温幅度/℃ Maximum cooling range
中等及以上强度 Moderate and above intensity cold air	57.9	1.4	8.6	11.7	62.5	2.2	9.0	13.2
强冷空气 Strong cold air	36.8	1.1	9.5		56.2	1.4	9.9	

4　结果与讨论

本文利用 1981 年以来宁夏贺兰山东麓气象资料,同时结合前人研究得出的酿酒葡萄气候资源阈值,重点研究分析酿酒葡萄生育期及关键期平均气温、活动积温、无霜期等热量资源及主要冷冻害变化的新特点。

(1)酿酒葡萄主要发育期 4—9 月各地各月平均气温显著上升,1997 年前后发生突变,突变后各地有 1—6a 偏高 1℃以上;关键期 4 月平均气温的上升对发育期气温的上升贡献仅次于 6 月,但波动幅度增大,增加了酿酒葡萄遭受霜冻或强降温危害的风险;7—8 月浆果生长和成熟期低温事件发生的可能性仍然较大。

(2)气候变暖使贺兰山东麓各地活动积温显著增加,对中晚熟品种的保证率达 100%;4—9 月 3300℃的积温保证率明显提高,达 89%以上;春季终霜日期和秋季初霜日期分别具有显著提前和显著推后趋势,无霜期延长,酿酒葡萄晚熟品种对无霜期需求的满足率有所提高;各地分别有 32%—58%和 58%—89%的年份活动积温和无霜期可满足极晚熟品种,因此可在活动积温保证率较高的地区实验性的种植极晚熟品种,日较差和充足的日照可能弥补有些年份活动积温的不足。

(3)银川和永宁冬季-17℃以下日数呈减少趋势,其他地区总体变化趋势不明显,贺兰和平罗 1997 年之后增加较明显;出现持续低于-17℃的频率变化不大,日数呈减少趋势;极端最低气温虽然有升高趋势,但仍然低于-17℃,尤其惠农和平罗多次出现气温异常低温;惠农、贺兰、平罗、银川 20 cm 深度-4℃以下日数呈减少趋势,但并不显著性,其他地区总体变化趋势不明显;因此仍需警惕酿酒葡萄越冬期冻害的发生,埋土深度和质量应尽量保持原有水平。

(4)适宜放条期后出现霜冻的年份及霜冻日数增多,霜冻过程的最低气温明显降低;出现伴随霜冻的中等及以上冷空气的频率和次数增加,强度增强。在生产过程中需注意天气变化,实时采取防霜措施减轻霜冻危害,或可推迟葡萄修剪延缓发芽,避免霜冻。

(5)不同品种对热量资源需求及对气候的适应性不同,气候变暖会使一些年份有些品种采摘期提前,因此需根据当地葡萄品种及气候条件,相应采取适当措施延长葡萄生育期,如葡萄成熟前尽可能保留最大负荷的产量,果实开始成熟时去掉不希望保留的果穗,或增加葡萄行间距,降低葡萄高度减缓成熟速度,延长生育期。

(6)气候变暖对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄生产有利有弊,气象灾害风险增大,在酿酒葡萄生育各关键期,仍需加强极端天气气候事件和气象灾害的监测和防范工作,减轻或避免气候条件变化对酿酒葡萄产业发展的不利影响。

(7)影响酿酒葡萄健康生产的热量资源还有采摘前一个月积温、开花至成熟期最高气温、最热月和最冷月平均气温等,秋季霜冻也会对其产生较大影响,本文由于篇幅所限并未做统计分析,还有待于做进一步分析。

参考文献(References):

[1]　李玉鼎, 张军翔, 王战斗, 蔡晓勤, 俞惠民, 马永明, 王发清, 张国林. 宁夏贺兰山东麓葡萄年份酒与气候. 中外葡萄与葡萄酒, 2004,

(2): 54-57.
[2] 韩颖娟, 张磊, 卫建国, 曹宁, 段晓凤, 杨云. 宁夏酿酒葡萄生育期气象条件及管理措施综述. 中国农业气象, 2011, 32(S1): 108-112.
[3] Berger J L. 气候变化对全球葡萄种植和葡萄酒酿造的影响. 中外葡萄与葡萄酒, 2008, (5): 61-63.
[4] 李华, 火兴三. 酿酒葡萄区划热量指标的研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(12): 69-73.
[5] 李欣, 李玉鼎, 王国珍, 陈卫平. 贺兰山东麓酿酒葡萄栽培主要自然灾害及规避措施. 中外葡萄与葡萄酒, 2012, (1): 39-41, 43-43.
[6] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999: 69-72.
[7] 王素艳, 霍志国, 李世奎, 薛昌颖, 毛飞. 中国北方冬小麦的水分亏缺与气候生产潜力——近 40 年来的动态变化研究. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 121-130.
[8] 李凤琴, 王佳, 赵军. 贺兰山东麓酿酒葡萄综合抗寒栽培技术研究. 北京农业, 2014, (33): 18-19.
[9] 和硕县. 酿酒葡萄的栽培技术. (2008-11-04). http://www.360doc.com/content/11/0214/13/5733955_92926561.shtml.
[10] 张亚红, 马非, 王文举, 王振平. 宁夏贺兰山东麓淡灰钙土与风沙土 2 种典型土质对葡萄根系冻害的影响. 农业科学研究, 2008, 29(1): 7-10.
[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20484-2006 冷空气等级. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-2.